



## **Energieffektiv mekanisk ventilation med energigenvinding til BR2005-huse** Erfaringer fra praksis

**Tommerup, Henrik M.**

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Tommerup, H. M. (2004). *Energieffektiv mekanisk ventilation med energigenvinding til BR2005-huse: Erfaringer fra praksis*. BYG Sagsrapport No. SR 04-05 <http://www.byg.dtu.dk/publications/sagsrapporter/byg-sr0405.pdf>

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Tommerup

Energieffektiv mekanisk  
ventilation med varmegenvinding  
til BR2005 huse – erfaringer fra  
praksis

Sagsrapport  
BYG·DTU SR-04-05  
2004  
ISSN 1601 - 8605

## Forord

Denne sagsrapport er udarbejdet af BYG-DTU og finansieret af Rockwool International A/S og Nilan A/S. Rapporten er tiltænkt som input i forbindelse med fastsættelse af nye krav til en bruttoenergiramme i kommende nye energibestemmelser i år 2005.

## 1 Konklusion

Rapporten dokumenterer, at der findes kommercielt tilgængelige mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding til småhuse, som kan levere en tilstrækkelig luftmængde ved en høj temperaturvirkning og et lavt elforbrug. Målinger foretaget i løbet af den netop afsluttede fyringssæson i to enfamiliehuse med isoleringsniveau svarende til kommende skærpede energikrav, viser temperaturvirkningsgrader på omkring 80 % og et specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi) på under  $1000 \text{ J/m}^3$  ved en luftmængde svarende til et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .

Der er i BR-S 98 (bygningsreglement for småhuse) et overordnet krav om et luftskifte på mindst  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , men der er imidlertid et væsentligt højere krav til typiske enfamiliehuse pga. krav til udsugning fra køkkener, baderum og bryggere. Dette er ikke rimeligt og det anbefales derfor at nye energibestemmelser foreskriver et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , som et generelt og maksimalt krav til luftskiftet. Dette er i øvrigt rimeligt baseret på tidligere undersøgelser af ventilationsbehovet foretaget af By og Byg (f.eks. SBI-meddelelse 130) og erfaringer fra forsøgshusene omtalt i denne rapport samt det faktum at elforbruget vokser med tredje potens af luftmængden.

Beregnes bruttoenergiebehovet med dels forudsætninger som i "Oplæg til nye energibestemmelser i BR05....." [1], svarende til en temperaturvirkningsgrad på 70 % og et specifikt elforbrug på  $2000 \text{ J/m}^3$ , og dels forudsætninger baseret på målingerne, fås en reduktion i det samlede energibehov på 13-15 %. Det vil derfor være rimeligt at nedsætte energirammen ift. den skitserede energiramme i oplæg til nye energibestemmelser.

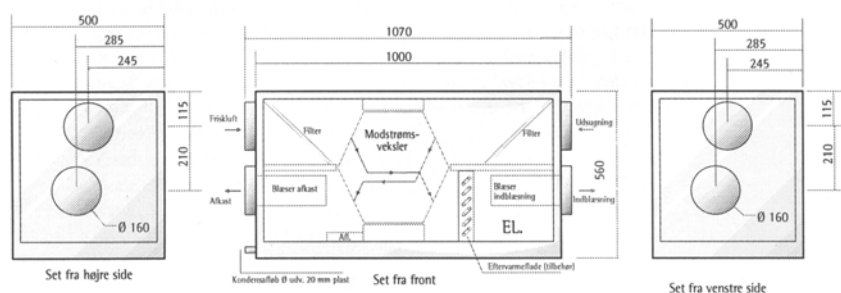
## 2 Baggrund

Energieffektiv balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding er en god teoretisk energibesparelsesmulighed, der forudsætter en hensigtsmæssig indregulering, betjening og vedligeholdelse for i praksis at opnå en god effektivitet både el- og varmemæssigt. Praktiske erfaringer fra en række opførte enfamiliehuse med mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding, der opfylder kommende skærpede energikrav, viser at disse anlæg virker tilfredsstillende og overordnet lever op til forventninger til deres driftssikkerhed og tekniske formåen, hvilket vil blive dokumenteret i rapporten, idet der redegøres for målinger af temperaturvirkningsgrad og elforbrug samt driftserfaringer i forbindelse med to anlæg i hhv. Snekkersten og Brøndby Strand.

### 3 Anlægsbeskrivelse

#### 3.1 Anlæg i Snekkersten

Anlægget er fra firmaet Nilan og er af typen Nilan Comfort 300. Aggregatet er isoleret og beregnet for en placering i f.eks. et uopvarmet lofttrum. Varmeveksleren i materialet plast virker efter modstrømsprincippet. Aggregatet (se Figur 1) består udover veksleren af to centrifugal ventilatorer med fremadkrummede skovle, der er drevet af DC-motorer, samt to planfiltre. Dertil kommer kanaler, lyddæmpere (lydflexslanger), kondensafløb mm. Kanaldimensionen er Ø160 mm ved indgang/udgang fra veksleren samt i hovedfordelingskanaler, og aftrappes til Ø125 mm ved fremføring til de enkelte rum. I bilag 1 er vist en plantegning over anlægget.



Figur 1. Skitse af aggregatet og billede af aggregatets placering i det uopvarmede lofttrum.

Anlægget leveres med en elektronisk styring, der typisk placeres på væg i stuen, hvorfra det er muligt at programmere og aflæse de forskellige driftstilstande, og giver mulighed for automatisk behovsstyring af luftskiftet. Der er fire mulige driftstilstande, se Tabel 1.

Tabel 1. Mulige driftstilstande.

Nr.	Tilstand	Beskrivelse
0	Fra	Anlægget er stoppet
1	Varme	Opvarmning af indblæsningsluft ved varmegenvinding
2	Køl	Indblæsning af utempereret udeluft ved åbning af by-pass-spjæld
3	Auto	Opvarmning af indblæsningsluften ved varmegenvinding, alternativt indblæsning af utempereret udeluft vha. bypass-spjæld ved overskridelse af en given udetemperatur (standard: 18 °C). Hvis afkasttemperaturen kommer under 3 °C aktiveres en afrimningsfunktion (jf. nedenfor).

Ventilatorer er 4-trinsstyrede og kan yde op til 275 m<sup>3</sup>/h (ved eksternt modtryk på 100 Pa). Der er ikke monteret en eftervarmeplade pga. varmevekslerens høje virkningsgrad, der sikrer en komfortable indblæsningstemperatur.

#### Frostsikring

For at undgå isdannelse er ventilationsaggregatet forsynet med en temperaturføler og regulering, der i princippet sikrer at afkastluften ikke kommer under 3 °C. Reguleringen foretages ved at indblæsningsluftstrømmen reguleres ned således, at den kolde luftstrøm bliver mindre end den varme luftstrøm (afkast-/udsugningsluftstrømmen), hvilket betyder at afkastluften nedkøles mindre

og en temperatur på mindst ca. 3 °C kan opretholdes i afkastluften. Hvis indblæsningsventilatorens laveste trin nås og temperaturen i afkastet ikke opfylder kravet, vil udsugningsventilatoren køre et trin op. Afrimningen stopper igen når afkastluftens temperatur er større end 5 °C i mere end 5 min.

Hvis der forudsættes en rumtemperatur på 20 °C og en relativ fugtighed på 40 %, som må anses for et seriøst bud på en relativ fugtighed i fyringssæsonen, vil afkastluftens temperatur komme under 3 °C ved en udetemperatur på – 7 °C og den ovenfor beskrevet frostsikring/regulering vil blive aktiveret. I henhold til det danske referenceår, DRY, vil udetemperaturen være under –7 °C i ca. 170 timer svarende til 1,9 % af driftstiden.

Som alternativ til ovennævnte afrimningstype er der mulighed for at vælge afrimning med bypass, hvor en eventuel suppleringsflade kan hæve indblæsningstemperaturen til komfortniveau.

### *Isolering*

Aggregatet er beregnet for en placering på loftet og er som standard udstyret med 20-30 mm isolering. Der er lavet en overslagsmæssig beregning på varmetabet i fyringssæsonen, som viser at dette ligger på i størrelsesordenen 50 kWh, hvori effekten af kuldebroer (fx kondensafløb) dog ikke er indregnet. Der er altså tale om et relativt lille varmetab. Supplerende isolering kan evt. udføres i form af en isoleringskappe til nem aftagning ved servicering af aggregatet.

### *Udnyttelse af motorvarme*

Motorvarmen fra udsugningsventilatoren udnyttes ikke til opvarmning af udsugningsluften inden den passerer varmeveksleren, da den er placeret efter veksleren. Dette skyldes, at en placering før veksleren vil betyde at "luftstrålen" rammer en mindre del af veksler-arealet, da den derved skal presse luften igennem veksleren i stedet for suge det igennem, dvs. virkningsgraden vil falde over veksleren og neutraliserer den ønskede effekt. Der kan naturligvis udformes nogle luftfordeler plader, men det kræver en merudgift, evt. ændret byggemål på aggregatet og et ekstra tryktab.

### *Temperaturvirkningsgrad*

Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad er blevet målt i forbindelse med en prøvning på Teknologisk Institut [2]. Virkningsgraden er fundet som den tørre temperaturvirkningsgrad for varmeveksleren, når den sidder i ventilationsaggregatet. For at mindske betydningen af varmetil- og fraførsel fra ventilationsaggregatet er den varme luft tilført aggregatet med en overtemperatur på ca. 10 K ift. rumtemperaturen, og den kolde luft tilført aggregatet med en undertemperatur på ca. 10 K ift. rumtemperaturen. Virkningsgraden er målt til 92 % ved en volumenstrøm på ca. 90 m<sup>3</sup>/h faldende til 84 % ved ca. 210 m<sup>3</sup>/h.

### *Eleffektivitet*

Der er også i forbindelse med ovenstående prøvning foretaget målinger af elforbruget ved et typisk eksternt modtryk i kanalsystem mm. på 150 Pa. Der er målt på både ventilatorer med AC og DC motorer. Målinger viste at elforbruget var hhv. ca. 159 W og 84 W ved en volumenstrøm på 216 m<sup>3</sup>/h (= 60 l/s), som er bygningsreglementets krav til den aktuelle hus, og hhv. 88 W og 33 W ved en volumenstrøm på 132 m<sup>3</sup>/h med udgangspunkt i det overordnede luftskifte-krav på 0,5 h<sup>-1</sup>. Tallene viser at der kan opnås en væsentlig el-besparelse ved at bruge DC-motorer frem for traditionelle AC-motorer, og at luftmængden er særdeles afgørende for elforbruget.

### 3.2 Anlæg i Brøndby Strand

Anlægget er fra firmaet AirVex og er af typen JoVex S450-175 DC - skabsmodel. Aggregatet er beregnet for en placering i f.eks. et bryggers. Varmeveksleren i materialet aluminium virker efter modstrømsprincippet. Aggregatet (se Figur 2) består udover veksleren af to radialventilatorer med bagudkrummede skovle (drevet af DC-motorer) samt to filtre og kondensafløb mm. Dertil kommer kanalsystem inkl. 2 stk traditionelle lyddæpere med perforering og isolering. Kanaldimensionen er Ø160 mm ved indgang/udgang fra veksleren samt i hovedfordelingskanaler, og aftrappes til Ø125 mm ved fremføring til de enkelt rum. Anlæggets ventilatorer er 3- trinsstyrede (der kan reguleres vha. potentiometre på alle trin), og kan yde op til 250 m<sup>3</sup>/h (ved eksternt modtryk på 100 Pa). Aggregatet er udstyret med et manuelt betjent bypass spjæld/kanal, der sender det meste af den udsugede luft uden om veksleren til afkast. I bilag 2 er vist en plantegning over anlægget.



Figur 2. Til venstre ses aggregatet med åben skabslåge (midt i billedet ses friskluft-ventilatoren). Til højre er vist den øverste del af aggregatet, hvor kanalsystemet er tilsluttet.

#### *Frostsikring*

Det aktuelle aggregat er placeret indenfor klimaskærm og er en lodret stående unit, hvilket betyder at kondensvand effektivt kan føres til afløb uden at fryse til is i vekslerens kanaler. Derfor er aggregatet ikke særligt sikret mod frost. Det er i øvrigt erfaringen at der selv ved meget lave udetemperaturer ikke dannes is i veksleren, men der har dog kunne opserveres is i bunden af aggregatet, hvilket ikke har påvirket anlæggets funktion nævneværdigt.

#### *Udnyttelse af motorvarme*

Motorvarmen fra begge ventilatorer kommer veksleren og de betjente rum til gode.

#### *Temperaturvirkningsgrad og eleffektivitet*

Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad er blevet målt i forbindelse med en prøvning på Teknologisk Institut [3]. Virkningsgraden er fundet som den tørre temperaturvirkningsgrad inkl. motorvarme fra begge ventilatorer. Virkningsgraden er målt til ca. 84-85 % ved en volumenstrøm på 150 – 225 m<sup>3</sup>/h. Målingerne er foretaget på en liggende unit hvor luftgennemstrømningen er mere optimal end i en tilsvarende lodret stående unit, hvorfor der kan forventes en lidt lavere virkningsgrad for det aktuelle anlæg. Der blev målt et elforbrug på 55 W ved et eksternt modtryk på 100 Pa og luftmængde på 150 m<sup>3</sup>/h.

## 4 Målinger

Der redegøres for kontrolmålinger af luftmængder mv. samt målinger af temperaturvirkningsgrad og el-forbrug.

### 4.1 Anlæg i Snekkersten

Anlægget i Snekkersten er udført med udsugning i samtlige rum (undtagen gang og entre) og med indblæsning i alle opholdsrum. Der er indreguleret en fornuftig fordeling af den samlede luftmængde svarende til mest udsugning i baderum og bryggers og mest indblæsning i de primære opholdsrum.

#### *Kontrol af luftmængder mv.*

Der er blevet foretaget kontrolmålinger af hovedluftstrømme vha. en måleblænde (type EHBA-012-1) indsat ved flexslangernes fastgørelse til aggregatet på rumsiden. Nøjagtigheden af denne måling er +/- 5 %. Resultater af målingerne fremgår af Tabel 2. Der blev ikke målt på trin 1. Derudover er der foretaget såkaldte tragtmålinger på de enkelte indblæsnings- og udsugningsventiler med udstyret "air flow detectorhead AM-300" og tilhørende "thermoanemometer GGA 23s". Nøjagtigheden ved sådanne målinger er ca. +/- 10 %.

Tabel 2. Samlede luftmængder bestemt vha. målerør og med "tragt" på samtlige ventiler.

	Udsugning			Indblæsning		
Ventilatortrin	2	3	4	2	3	4
Med målerør:						
Luftmængde (m <sup>3</sup> /h)	105	171	217	91	166	176
Luftskifte (h <sup>-1</sup> )	0,40	0,65	0,82	0,35	0,63	0,67
Med "tragt":						
Luftmængde (m <sup>3</sup> /h)	104	164	220	114	172	186
Luftskifte (h <sup>-1</sup> )	0,40	0,62	0,84	0,43	0,65	0,71

Målingerne viser for det første at luftmængderne er fint balancerede på trin 2 og trin 3. Desuden viser målingerne at luftmængden på trin 2 svarer omtrent til et luftskifte på 0,4 h<sup>-1</sup>.

Der forekommer også et luftskifte uden om anlægget relateret til utætheder i klimaskærmen. Dette luftskifte er tidligere beregnet som et gennemsnitligt årligt luftskifte på 0,11 h<sup>-1</sup>, baseret på en standard trykprøvning af huset, der viste et luftskifte på 1,6 h<sup>-1</sup> ved 50 Pa trykforskel (jf. [4]).

Udover kontrol af luftmængder, blev veksler samt filtre inspiceret. Filtrene blev skiftet i september 2003 og som forventeligt trængte udsugningsfiltret til at blive rengjort for støv. Indblæsningsfiltret var lidt tilsødet, og kunne ikke fjernes. Herudover så anlægget ud til at være i fin stand. Der blev efterfølgende foretaget nye målinger med målerøret, som dog ikke afveg fra de tidligere målinger.

#### *Elforbrug og temperaturvirkningsgrad*

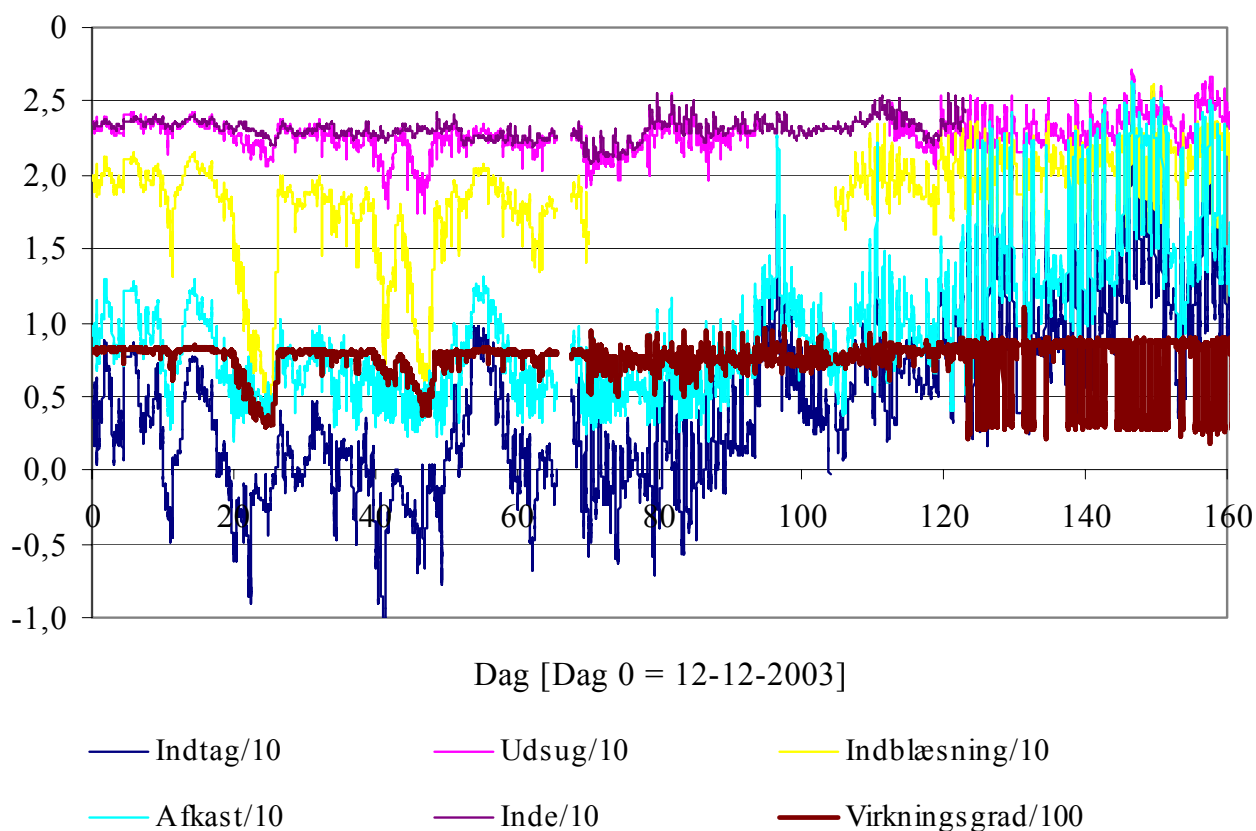
Der redegøres i det følgende for målinger i perioden 12/12-2003 til medio april 2004. I denne periode har anlægget kørt på trin 3 i de første tre uger og trin 2 i resten af tiden. Det lokale elskab (Nesa) har i forbindelse med udførelse af detaljerede elmålinger på samtlige forbrugsgrupper i huset, også foretaget målinger på ventilationsanlægget på timebasis. I perioden har der kunne beregnes et gennemsnitligt effektoptag på 61 W på trin 3 og 26 W på trin 2. Det specifikke elforbrug til lufttransport (SEL-værdien) kan nu beregnes og fremgår af Tabel 3.

Tabel 3. Beregning af SEL-værdien.

Ventilatortrin	2	3
P (W)	26	61
Q (m <sup>3</sup> /h)	105	170
Luftskifte (h <sup>-1</sup> )	0,40	0,65
SEL (J/m <sup>3</sup> )	891	1292

Det aktuelle anlæg er udstyret med DC ventilatorer med ekstern styringselektronik / strømforsyning, som har et forholdsvis stort effektforbrug, der er målt til 10 W ved inaktive ventilatorer. Nilan er imidlertid gået over til at anvende en ny type og mere energieffektive ventilatorer med en ny generation af styringselektronik / strømforsyning integreret på ventilatoren, der har et mindre tab i elektronikken og en bedre elvirkningsgrad. Målinger udført af Nilan viser at effektoptaget ved maksimal luftmængde, svarende til 245 m<sup>3</sup>/h ved et styresignal på 10 VDC og 100 Pa eksternt modtryk, reduceres fra 73 W til 38 W ved anvendelse af de nye ventilatorer.

I Figur 3 er vist en oversigt over målte temperaturer og temperaturvirkningsgrad henover vinteren og foråret 2004. Der har i midten af perioden været problemer med de trådløse måler i indblæsningen og udsugningen, og der mangler således målinger af indblæsningstemperaturen fra ca. dag 70 til dag 100. I denne periode er den viste kurve for temperaturvirkningsgraden beregnet ud fra temperaturændringen af den udadgående luftstrøm (i stedet for den indadgående) divideret med forskellen mellem de to luftstrømmes tilgangstemperatur, idet de to luftstrømme, jf. målingerne, ved normal drift er omtrent lige store.

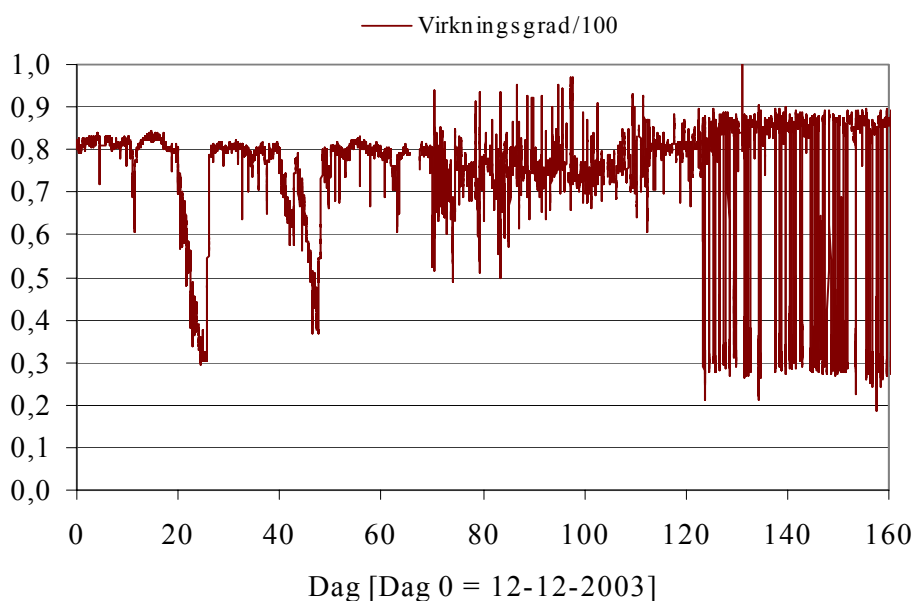


Figur 3. Diverse målte temperaturer og beregnet virkningsgrad i perioden 12. december 2003 til medio maj 2004.



Det fremgår af Figur 3 at temperaturvirkningsgraden i perioden har været ca. 80 % med undtagelse af perioder med vedvarende frost og høje udetemperaturer.

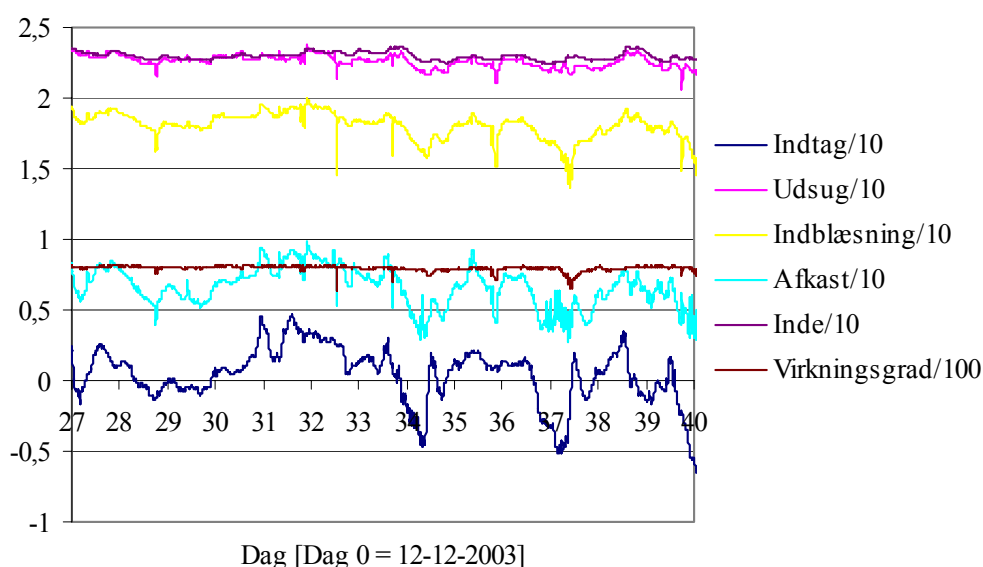
Figur 4 viser detaljeret temperaturvirkningsgraden henover måleperioden. Det ses at den falder mærkbart i forbindelse med to relativt kortvarige perioder med vedvarende frost. Dette antages at skyldes en tilisning af vekslerens kanaler i den udadgående luftstrøm og en deraf følgende nedsat varmeoverføring og luftmængde (nedreguleringen af indblæsningen vil også kunne påvirke luftmængden i udsugningen, hvis der på grund af husets tæthed ikke kan tilføres tilstrækkelig erstatningsluft). Målingerne viser dog at anlæggets frostsikring virker efter hensigten, dvs. den sørger for altid at holde afkastluftens temperatur over 3 °C, men dette er altså ikke tilstrækkelig til at hindre isdannelse i vekslerens kanaler. Der findes forskellige løsninger på tilisningsproblematikken, herunder en forvarmning af indblæsningsluften før indløb til veksleren. En bedre løsning, der ikke kræver tilførelse af ekstra energi, vil være en spjæld-løsning, der skiftevis lukker af for nogle af vekslerens indtagskanaler, således at den varme udsugningsluft i denne del af veksleren ikke længere afkøles, men opvarmer overfladen i de tilset kanaler og derved smelter isen i disse kanaler. Tilisning er generelt ikke et stort problem i Danmark pga. få perioder med meget lave udetemperaturer.



Figur 4. Temperaturvirkningsgrad i måleperioden.

Temperaturvirkningsgraden fra ca. dag 70 til dag 100 er som nævnt pga. dataudfald alternativt baseret på temperaturændringen i den udadgående luftstrøm. Årsagen til de forholdsvis store udsving i denne periode skyldes til dels frostsikringens nedregulering af indblæsningen. De kraftige udsving sidst i perioden skyldes anlæggets automatiske by-pass af indblæsningsluften, der aktiveres ved udetemperaturer over 16 °C.

I Figur 5 er vist målinger fra en normal kold vinterperiode på 13 dage, hvor udetemperaturen har været omkring frysepunktet. Det ses at virkningsgraden i hele perioden har været ca. 80 %.



Figur 5. Målinger fra en normal kold vinterperiode med udetemperaturer i intervallet 5 til  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Det fremgår også af Figur 5 at der med jævne mellemrum forekommer nogle meget kortvarige fald i alle målte temperaturer undtagen udetemperaturen og oftest omkring kl. 18. Dette skyldes udluftning.

## 4.2 Anlæg i Brøndby Strand

Anlægget i Brøndby Strand er udført med udsugning i køkken/alrum, baderum og bryggers og med indblæsning i alle opholdsrum. Der er indreguleret en fornuftig fordeling af den samlede luftmængde svarende til mest udsugning i baderum og bryggers og mest indblæsning i de primære opholdsrum.

### *Kontrol af luftmængder mv.*

Ved kontrol af luftmængden kunne det konstateres at balanceringen var fin; den udsugede og den indblæste luftmængde var omtrent ens. Målingerne viste dog at luftmængderne var for små, og derfor er der foretaget en indregulering til det rette niveau (se Tabel 4). Efter ny indregulering er luftmængderne kontrolleret ved målinger iht. VENT-ordningen, idet der er målt traverserende i 4 punkter. Måleplanet udsugning ligger umiddelbart efter lyddæmperen (900 mm lang) og måleplanet indblæsning ligger i slutningen af lyddæmperen. Begge er over 5 x diameter efter forstyrrelse og over 3 x diameter til forstyrrelse. Hovedkanalernes dimension er  $\text{Ø}160$ . Der er anvendt måleudstyret TSI varmetrådsanemometer 270-T-4089.

Tabel 4. Ny indregulering af luftmængder foretaget 3/5-2004.

Ventilatortrin	Min	Normal	Max
Luftmængde ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	90	130	215
Luftskifte ( $\text{h}^{-1}$ )	0,35	0,5	0,83

Kontrolmålingerne viste at udsugningsluftmængden var som anført i Tabel 4. Luftmængden i indblæsningen var omtrent 10 % mindre end i udsugningen. Dette gav dog ikke anledning til justeringer, da en lidt større udsuget luftmængde er ønskeligt ud fra et fugtteknisk synspunkt, idet der derved bliver et svagt undertryk i huset, som reducerer risikoen for fugtskader i husets konstruktioner. Strengt taget vil der skulle indregnes en forøget infiltration af udeluft som erstatning for den mindre indblæste luftmængde, men det vil dog være rimeligt at se bort fra dette i det følgende.

Luftskiftet uden om anlægget, relateret til utætheder i klimaskærmen, er beregnet som et gennemsnitligt årligt luftskifte på  $0,11 \text{ h}^{-1}$ , baseret på en standard trykprøvning, der som resultat viste et luftskifte på  $1,5 \text{ h}^{-1}$  ved 50 Pa. Denne prøvning er omtalt i [5].

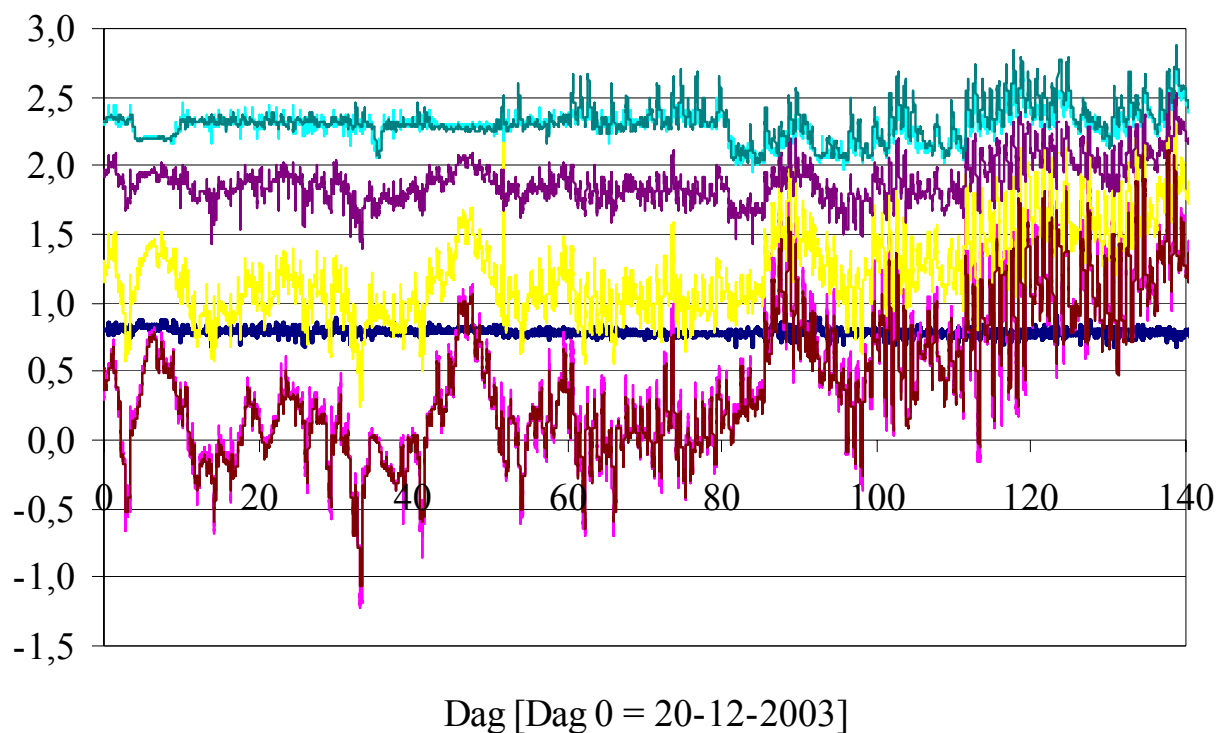
### *Elforbrug og temperaturvirkningsgrad*

Efter indregulering af de rette luftmængder er der blevet foretaget spotmålinger af effektoptaget. Effektforbrug, luftmængder samt SEL-værdier er anført i Tabel 5.

Tabel 5. Beregning af SEL-værdien.

Ventilatortrin	Min	Normal	Max
P (W)	13	23	58
Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	90	130	215
Luftskifte ( $\text{h}^{-1}$ )	0,35	0,5	0,83
SEL ( $\text{J}/\text{m}^3$ )	520	636	971

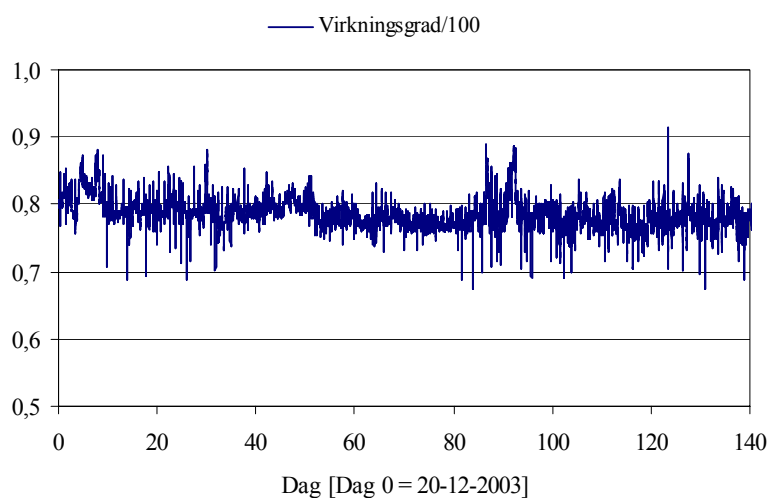
I Figur 6 er vist en oversigt over målte temperaturer og virkningsgrad henover vinteren og foråret 2004.



— Virkningsgrad/100      — Indtag/10      — Afkast/10  
— Udsug/10      — Indblæsning/10      — Ude/10  
— Inde/10

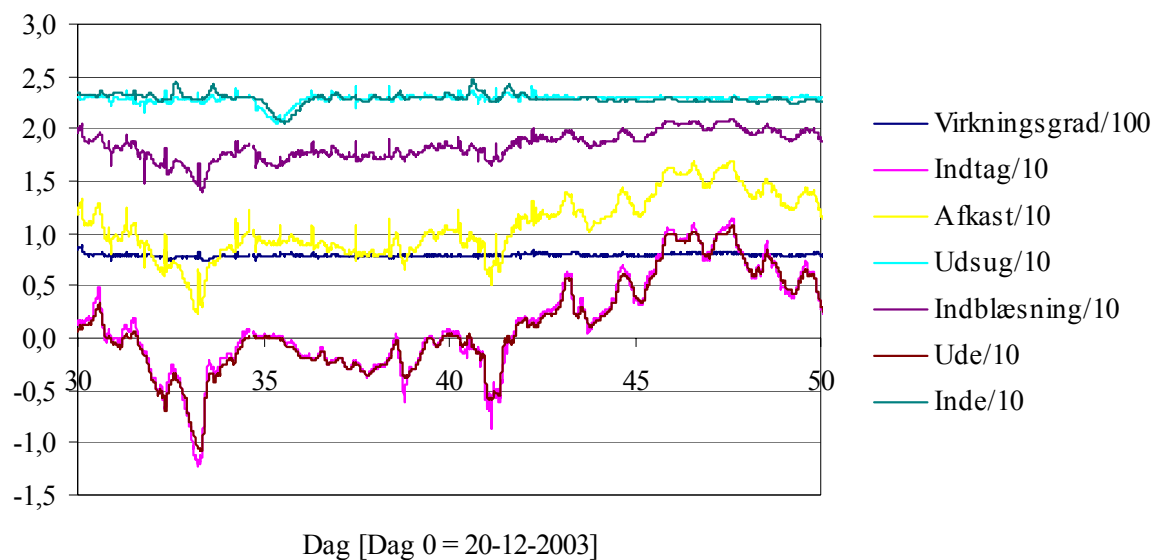
Figur 6. Diverse målte temperaturer og virkningsgrad i perioden 20. december 2003 til primo maj 2004.

I nedenstående figur er vist temperaturvirkningsgraden forløb i måleperioden. Det ses at denne ligger meget konstant omkring 80 %. Målinger bekræfter at der ikke er problemer med tilisning af veksleren, hvilket som nævnt skyldes aggregatets placering i bryggers og dets opbygning; lodretstående unit der sikrer et godt afløb af kondensvand.



Figur 7. Temperaturvirkningsgraden i måleperioden.

I Figur 8 er der vist målinger fra en udvalgt periode med stor variation i udetemperaturen. Det ses at indblæsningstemperaturen i hele perioden stort set ikke kommer under 15 °C, hvilket er medvirkende til at sikre et behageligt indeklima uden trækgener.



Figur 8. Målinger fra udvalgt 20 dages perioden i januar/februar 2004, hvor der forekommer både meget lave og høje udetemperaturer.

## 5 Bruttoenergiramme

Kravene til ventilation i enfamiliehus i BR-S 98 (bygningsreglement for småhuse) kan opfyldes med naturlig ventilation gennem udeluftventiler og aftrækskanaler fra køkken og bad. Der er krav om et luftskifte på mindst  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Hvis der installeres balanceret mekanisk ventilation, skal der være en udsugning fra køkkener på mindst 20 l/s konstant, fra baderum på mindst 15 l/s og fra bryggers på mindst 10 l/s. Ud fra kravene til balanceret mekanisk ventilation, vil man for et typisk enfamiliehus få et luftskiftekrav der er væsentlig større end det overordnede krav på  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Dette er ikke umiddelbart rimeligt og derfor er der i beregningerne forudsat et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Denne forudsætning antages at være den samme i oplæg til nye energibestemmelser [1], selvom der heri ikke specifikt er redegjort for dette. Der er desuden antaget et yderligere luftskifte ved normal infiltration gennem utætheder i klimaskærmen på  $0,1 \text{ h}^{-1}$ , svarende omtrent til resultatet af tidligere omtalte målinger af husenes lufttæthed.

I det følgende foretages en beregning af bruttoenergiebehovet ud fra forudsætninger til mekanisk ventilation med varmegenvinding som i [1], svarende til en temperaturvirkningsgrad på 70 % og et gennemsnitligt elforbrug på  $2000 \text{ J/m}^3$ . Til sammenligning beregnes energibehovet med udgangspunkt i målingerne, svarende til en virkningsgrad på 80 % og en SEL-værdi på  $1000 \text{ J/m}^3$  for anlægget i Snekkersten og  $650 \text{ J/m}^3$  for anlægget i Brøndby.

Rumopvarmningsbehovet er beregnet på baggrund af tidligere opbyggede modeller af husene, der er beskrevet i [6] (Snekkersten) og [7] (Brøndby). Beregningerne er foretaget i BSIM 2002.

Et eksempel på beregning af bruttoenergiebehovet for huset i Snekkersten er vist i Tabel 6.

Tabel 6. Eksempel på beregning af bruttoenergiebehovet for forsøgshuset i Snekkersten baseret på metoden i [1] og målinger af ventilationsanlæggets energieffektivitet. Alle tal-angivelser er i kWh/år. El-behov indgår med en faktor 3.

Varme- og el-behov	Energiebehov	Energiramme-beregning	Bemærkninger/forudsætninger
Rumopvarmning	4945	4945	80 % varmegenvinding
Varmt brugsvand (VBV)	1875	1875	50 MJ/m <sup>2</sup> /år svarende til 265 liter/m <sup>2</sup> /år ved opvarmning fra 10 til 55 °C.
Varmetab fra VV-Beholder	633	253	60 % kommer huset til nytte
Varmetab fra VV-rør	0	0	Der regnes ikke med varmetab fra varmerør i den opv. del af hubygn.
Varmetab fra VBV-rør	0	0	Ingen VBV cirkulation.
El-behov i varmeanlæg	111	334	Varmeanlæg der alene betjener én bolig. Elbehov halveres.
El-behov i VBV-anlæg	117	350	VBV-anlæg der alene betjener én bolig. Elbehov halveres.
El-behov i ventilationsanlæg	315	945	SEL-værdi: 1000 kJ/m <sup>3</sup> . Drifttid: Hele året.
I alt	-	8704 (232 MJ/m <sup>2</sup> )	Energiramme: 10125 (270 MJ/m <sup>2</sup> )

De samlede bruttoenergiebehov baseret på hhv. forudsætninger til ventilation med varmegenvinding i oplæg til BR2005 energibestemmelser og målinger, fremgår af Tabel 7.

Tabel 7. Energibehov i MJ/år pr. m<sup>2</sup> etageareal. Energirammen for de to huse er 270 MJ/år pr. m<sup>2</sup>.

Forudsætninger:	Energibehov		Reduktion i pct.	
	Snekkersten	Brøndby	Snekkersten	Brøndby
Oplæg til BR2005	267	295	-	-
Målinger	232	251	13	15

Energibehovet for de aktuelle forsøgshuse ligger et godt stykke under den skitserede energiramme, svarende til hhv. 14 og 7 %. Reduktionen i forhold til tilsvarende huse med forudsætningerne vedrørende temperaturvirkningsgrad og elforbrug som i oplæg til BR2005 [1], er som det fremgår af Tabel 7 hhv. 13 og 15 %. Der er altså tale om en forholdsvis stor reduktion i energibehovet i betragtning af at det kun er de to ventilationsparametre (virkningsgrad og elforbrug), der er justeret til mere realistiske værdier.

På baggrund af ovenstående vurderes det rimeligt at nedsætte energirammen ift. den skitserede ramme i oplæg til nye energibestemmelser.

Det er ovenfor forudsat at ventilationsanlæggene er i drift hele året. Det kunne med passende friskluftventiler overvejes at slukke for anlægget om sommeren og udelukkende bruge udluftning. Elforbruget kan derved reduceres med ca. 40 %.

## 6 Driftserfaringer

En god anlægsstyring, nem vedligeholdelse/servicering, lavt støjniveau og et godt indeklima (herunder fugtforhold) er alle aspekter der er vigtige i forbindelse med mekanisk ventilation med varmegenvinding til boliger. Der redegøres her kortfattet for erfaringer med de to anlæg.

De to anlæg har overvejende fungeret efter forventningerne, svarende til at der er realiseret et godt indeklima, en høj temperaturvirkning og et lavt elforbrug. Beboerne oplever generelt indeklimaforholdene som tilfredsstillende ved et luftskifte på ca.  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Ved forceret ventilation opleves af beboerne i Snekkersten at støjforholdene i soveværelse ved sengetid er mindre gode.

I et enkelt tilfælde er der i Snekkersten blevet slukket for anlægget (sker via et enkelt tryk på en knap på styringen i stuen), og efterfølgende har man glemt at tænde igen. Dette forårsagede naturligvis et utilstrækkeligt luftskifte og bl.a. dug på vinduer, som er forståeligt da huset af hensyn til anlæggets effektivitet er udført med en god lufttæthed. Der gik et par uger før ”fejlen” blev opdaget, hvilket beboerne tilskriver det lave støjniveau (de kunne ikke høre forskel!) samt at de ikke tolkede den indvendig dug på ruderne som en ”fejl”. Læren af dette er at det ikke må være for nemt at slå anlægget helt fra; alternativt at man alarmeres hvis det forekommer over længere tid.

I Brøndby Strand har luftskiftet i en længere periode ligget på ca.  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , hvilket især har medført en utilstrækkelig udluftning på badeværelser og deraf følgende åbning af vinduer, hvilket af hensyn til varmegenvindingen ikke er hensigtsmæssigt. Efter at luftmængden er blevet opjusteret til et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , oplever beboerne ikke længere problemer med indeklimaet. Beboerne i Brøndby oplever ingen problemer med støj. Varmegenvindingen er meget stabil, idet veksleren ikke fryser til når det bliver koldt, hvilket skyldes aggregatets indendørs placering og at der er tale om en lodret stående unit (kondensvand løber effektivt af).

De to anlæg er hensigtsmæssigt udformet styringsmæssigt. Man kan f.eks. ikke som uvidende beboer komme til at ødelægge balanceringen via en omdrejningsregulator for trinløs regulering. 3- eller 4 trinsstyrede ventilatorer er at foretrække, således at der kan indstilles luftmængder svarende til forskellige behov; til natdrift/ferieperioder, til normal drift (luftskifte svarende til bygningsreglementets krav) og til fest/madlavning/bad eller anden aktivitet der udvikler ekstraordinære mængder af varme, fugt og/eller lugt.

Der er behov for et automatisk og driftssikkert by-pass, til at sikre by-pass af friskluft i sommerperioden og derved et fornuftigt indeklima. By-passet bør styres efter en velvalgt udetemperaturen, der afspejler bygningens energibalance, eller være permanent aktiveret i sommerperioden, hvilket vil hjælpe til at køle bygningen vha. kold natteluft, således at konstruktionerne kan optage varme i løbet af dagen og derved udjævne indetemperaturen over døgnet med færre perioder med overtemperaturer til følge og alt andet lige en bedre termisk komfort.

I henhold til udkast til nye energibestemmelser i år 2005, lægges op til en præcisering af at anlæg skal udformes, så det er muligt at kontrollere hovedluftstrømme og elforbrug til lufttransport. Dette bør dog kombineres med en eller anden form for serviceordning i analogi til f.eks. OR-ordningen, skorstensfejer-ordningen eller lign. ordninger for boligområdet. I forbindelse med det nye bygningsdirektiv er en standard for inspektion af ventilationssystemer under udarbejdelse (CEN TC156/WG2), som kan være grundlaget for en sådan ordning.

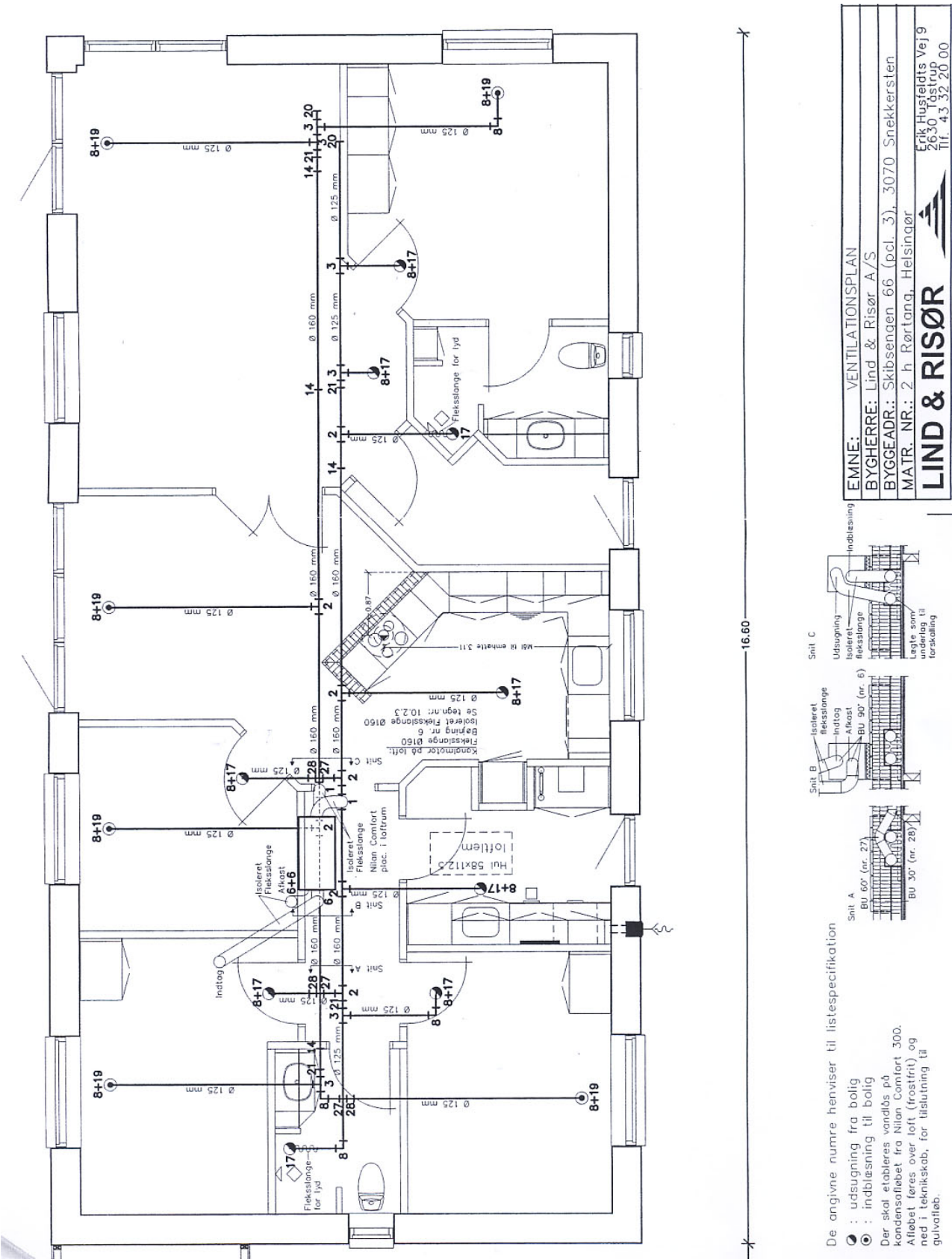


## 7 Referencer

- [1] Oplæg til energibestemmelser Bygningsreglement år 2005 og skitse til bestemmelser i år 2012. Søren Aggerholm, BY og BYG. Aug. 2001.
- [2] Vejledende vurdering af en prototype af ventilationsaggregat – Nilan Comfort 300. Sagsnr. 1009109. Jan Christiansen, Teknologisk Institut. Jan. 2002.
- [3] Prototype af ventilationsunit med varmeveksler fra Termovex. Teknologisk Institut. Juni 1999.
- [4] Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer. Rose, J. & Tommerup, H. Rapport BYG.DTU R-060, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2003.
- [5] Airtightness Control of Single-family Houses. Hruby, V. & Svendsen, S. Proceedings of the 6<sup>th</sup> symposium (Building Physics in the Nordic Countries) in Trondheim, june 2002. Vol 2, p. 837 – 842.
- [6] Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner – Del 1: Konstruktioner/Systemer. Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer. Rapport R-056. BYG•DTU 2003.
- [7] Typehus svarende til BR-2005-energikrav. Del 1: Optimering af konstruktioner/Systemer. Rapport R-001. BYG•DTU 2001.

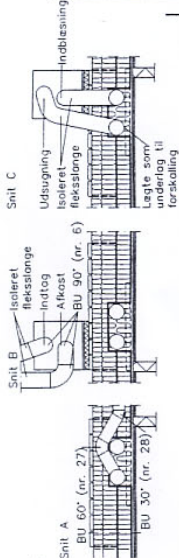
## **Bilag**

I de efterfølgende to bilag er vist plantegninger over de to ventilationsanlæg. Bilag 1 viser anlægget i Snekkersten og bilag 2 viser anlægget i Brøndby Strand.



De angivne numre henviser til listespecifikation

- : udsugning fra bolig
  - : indblæsning til bolig
- Der skal etableres vandbælt på kondensafløbet fra Nilan Comfort 300. Afløbet føres over loft (frostfrit) og ned i tekniskrum, for tilslutning til gulvafløb.



EMNE:	VENTILATIONSPLAN
BYGGERE:	Lind & Risør A/S
BYGGEADR.:	Skibsenqen 66 (pcl. 3), 3070 Snekersten
MATR. NR.:	2 h Rørtang, Helsingør
<b>LIND &amp; RISØR</b>	
Erik Hustedts Vej 9 2630 Røgsrup Tlf. 43 32 20 00	

